

УДК 629.17

С.С. Душкин¹, А.Н. Назаренко², Е.А. Юхневич²¹Харьковский национальный университет городского хозяйства им О.М. Бекетова, Харьков²Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье

СОСТОЯНИЕ КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВОЙ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ГАЗООЧИСТОК ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Работа заключается в совершенствовании регулирования карбонатно-кальцевого равновесия путем фактического определения состояния энергетических коммуникаций и выдачи рекомендаций по водно-химическому режиму работы металлургического и прочего энергетического оборудования. Работа включала в себя объединение различных направлений регулирования карбонатного равновесия в оборотной воде для регулирования бессточности предприятия для повышения энергоэффективности предприятий и предложение методологического подхода в оптимальном управлении природными ресурсами за счет полученных технологико-экономических моделей регулирования хозяйствования.

Ключевые слова: жесткость воды, аналитика, проба воды, толщина отложений, солесодержание, норма, трубопровод, закон, мониторинг, электронная база, энергоэффективность.

Постановка проблемы. Состояние водно-химического режима предприятий во многом зависит от экологического состояния бассейна сбора воды. Наличие конгломерата предприятий разных направлений и технологических цепочек усложняет процесс ассимиляции сбросов сточных вод и усложняет процессы смешения различных гомогенных и гетерогенных растворов. В этой связи насущным является постоянный контроль за водно-химическим режимом всех предприятий. Поскольку инструментальный контроль довольно накладное мероприятие, у главных экологов и энергетиков актуальным будет вопрос оптимизации карбонатно-кальцевого равновесия оборотных циклов с точки зрения повышения экологичности предприятия. Применение автоматизированных информационных систем, основанных на методах имитационного моделирования, позволяет оперативно прогнозировать оптимальные решения по использованию водных ресурсов региона.

Анализ последних достижений. При выполнении работы использовался аппарат системного анализа и математического моделирования. Теоретические и методологические подходы, использованные в статье, базируются на трудах российских, украинских и зарубежных учёных в области управления водохозяйственной деятельностью. Непосредственной основой работы послужили труды А.П. Великанова, А.М. Гареева, А.А. Глушко, К.Г. Гофмана, С.С. Душкина, С.М. Епояна, Г.С. Пантелюта, А.Е. Косолапова, В.А. Колесникова, С.О. Варакина.

Цель работы заключается в совершенствовании регулирования качества вод произвольного речного бассейна в соответствии с реалистичным состоянием водно-химического режима работы

предприятия (АИС). Работа представляет объединение различных направлений регулирования водно-химического режима в промышленности, ЖКХ и сельском хозяйстве путем сбалансированного хозяйствования природными ресурсами за счет полученных технологических моделей.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач:

- анализ и оптимизация модели воднохозяйственной деятельности промышленных предприятий, коммунальных служб, сельскохозяйственных производителей путём учёта качества исходной воды и взаимодействие с энергетическими управлениями предприятий города;
- анализ возможностей для регулирования физического состояния энергетических коммуникаций в зависимости от качественного регулирования состава подпиточной воды на промышленных предприятиях;
- разработка и внедрение для произвольного речного бассейна автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений «Аквामенеджер-Днепр» в области регулирования качества вод;
- разработка методологии управления водохозяйственным комплексом речного бассейна Днепра (Запорожье) с использованием программного комплекса.

Предметом исследований работы являются эколого-экономические модели управления водоохранной деятельности, как отдельных предприятий-водопользователей, так и их синергетического эффекта на уровне речного бассейна.

Объектом исследований является водоохранная деятельность, как предприятия, так и водохозяйственного комплекса речного бассейна в целом, в современных правовых и экономических условиях.

Нетрудно предугадать сколько времени будет работать система водоснабжения предприятия без соответствующего уровня водоподготовки и культуры сервиса обслуживания. Гораздо интереснее и полезнее (безаварийность работы) спроектировать систему прогностической оценки и надежность обслуживания систем водоснабжения промышленных предприятий.

Для оценки состояния системы необходимо по аналитическим данным рассчитать равновесные концентрации определяемых компонентов системы. Практически рассчитывается равновесная концентрация свободной двуокиси углерода при различных концентрациях ионов кальция и гидрокарбонатов в зависимости от условий (t , P) и химического состава воды. Расчеты проводились по данным табл. 1.7 по известным методикам [14, 21], в которые были внесены некоторые изменения. Результаты расчетов приведены в табл. 2.1.

По данным ряда исследований [8, 9, 12] наибольшая интенсивность отложений карбоната кальция в оборотных циклах наблюдается на участке от очистных сооружений до градирни.

Согласно расчетам, представленным в табл. 2.1, в трубопроводах от безнапорных циклонов до вентиляционной градирни из оборотной воды в осадок выпадает избыток карбоната кальция в количестве $6,5 \text{ г/м}^3$. Время пребывания воды на этом участке составляет 1,3 мин. За это время через трубопроводы пройдет $69,3 \text{ м}^3$ воды (при общем расходе $3179 \text{ м}^3/\text{ч}$). В осадок выпадет карбоната кальция в количестве $6,5 \times 69,3 = 451 \text{ г}$.

Внутренняя поверхность трубопроводов составляет 603 м^2 . Интенсивность отложений за 1,3 мин будет равна:

$$ИО = 451:603 = 0,748 \text{ г/м}^2 \quad (1)$$

или в перерасчете на 1 ч составит:

$$0,748 \cdot \frac{60}{1,3} = 34,52 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$$

что при удельном весе карбоната кальция $2,7 \text{ г/см}^3$ даст высоту слоя отложений:

$$h = \frac{34,52}{2,7 \cdot 10^4} \cdot 8760 \cong 11,2 \frac{\text{см}}{\text{год}}, \quad (2)$$

где 8760 – число часов работы оборотного цикла в году.

Однако при осмотре трубопроводов через год работы обнаружена пленка карбоната кальция

толщиной 0,4 см, то есть фактически на порядок меньше.

Вероятно, большую роль в процессе кристаллизации карбоната кальция играет наличие взвешенных веществ в оборотной воде. Это подтверждается авторами [16, 17, 18], по предложению которых для предотвращения карбонатных отложений в оборотные циклы вводятся искусственно приготовленные зернистые присадки. В данном случае роль зернистых присадок играют взвешенные частицы [19]. Покажем это расчетом.

Количество взвешенных веществ в осветленной воде после гидроциклонов составляет 192 г/м^3 при среднем эквивалентном диаметре частицы взвеси 20 мкм ($2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$). Вес одной частицы

$$g_{\text{ззз}} = \frac{1}{6} \cdot \pi d_z^3 \cdot \gamma = \frac{1}{6} \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2 = 8,37 \cdot 10^{-9} \text{ г} \quad (3)$$

где γ – удельный вес взвешенных частиц, 2 г/см^3 .

За один час в трубопроводе пройдет взвешенных частиц:

$$G_{\text{ззз}} = 192 \cdot 69,3 = 115776 \text{ г} \quad (4)$$

Общее количество взвешенных частиц:

$$n = \frac{G_{\text{ззз}}}{g_{\text{ззз}}} = \frac{115776}{8,37 \cdot 10^{-9}} = 1,38 \cdot 10^{13} \text{ шт/ч} \quad (5)$$

Поверхность одной взвешенной частицы:

$$S'_{\text{ззз}} = \pi \cdot d_z^2 = 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 = 1,26 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \quad (6)$$

Общая поверхность всех частиц:

$$S_{\text{ззз}} = S'_{\text{ззз}} \cdot n = 1,26 \cdot 10^{-9} \cdot 1,38 \cdot 10^{13} = 17428 \text{ м}^2 \quad (7)$$

Допуская, что карбонат кальция равномерно распределяется между поверхностями трубопровода и взвешенными частицами, определим процент осаждения его на поверхности трубопровода:

$$\frac{S_{\text{тр}}}{S_{\text{ззз}} + S_{\text{тр}}} \cdot 100\% = \frac{603}{17428 + 603} \cdot 100\% = 3,35\% \quad (8)$$

Из общего количества выпавшего в осадок карбоната кальция на поверхности трубопровода осаждается:

$$G_{\text{CaCO}_3}^{\text{н}} = 451 \cdot 3,35 \cdot 10^{-2} = 15,1 \text{ г} \quad (9)$$

Интенсивность отложения карбоната кальция за 1,3 мин составляет:

$$ИО = \frac{G_{\text{CaCO}_3}^{\text{н}}}{S_{\text{тр}}} = \frac{15,1}{603} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ г/м}^2$$

что в перерасчете на 1 час составит:

$$2,5 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{60}{1,3} = 1,15 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$$

Толщина слоя карбоната кальция, образующегося в течение года на поверхности трубопровода равна:

$$h = \frac{IO}{\rho} = \frac{1,15}{2,7 \cdot 10^4} \cdot 8760 = 3,74 \text{ мм/год} \quad (10)$$

Полученное расчетным путем значение (3,74 мм/год) толщины слоя карбоната кальция практически совпадает с фактически замеренным (4 мм/год).

Таким образом, изложенную методику расчета можно применить для прогнозирования интенсивности отложений карбоната кальция на поверхности коммуникаций и очистных сооружений оборотных циклов водоснабжения газоочисток металлургических агрегатов в зависимости от физико-химических характеристик оборотных вод и концентрации взвешенных веществ, а также их дисперсного состава.

Аналогичные расчеты проведены для других участков оборотного цикла и результаты приведены в табл. 2.2.

Всего в оборотном цикле выпадает в осадок 202 кг/ч карбоната кальция, из них 201 кг/ч осажается на шламе и выводится из системы, а

1 кг/ч осажается на поверхности трубопроводов и очистных сооружений.

Главной же задачей опытно-промышленных исследований было определение интенсивности отложений на стенках трубопроводов и сооружений. Конечные результаты представлены в табл. 2.3.

Выводы и рекомендации

Как видно из приведенных результатов, при работе четырех гидроциклонов в запорной арматуре и трубопроводах осветленной воды возможны небольшие зарастания. Это объясняется, по-видимому, тем, что при работе четырех гидроциклонов продолжительность нахождения оборотной воды в очистных сооружениях меньше, чем требуется для полного завершения процессов кристаллизации карбоната кальция и его полного высаживания. При работе шести гидроциклонов зарастания наблюдаются меньше нормируемых величин (<1,5 мм/год).

Таблица 2.3. Интенсивность отложений при обработке оборотных вод отработанными травильными растворами

№ п/п	Участок оборотного цикла	Расход воды, м ³ /ч	Интенсивность отложений на стенках, пластинах			
			при 4-х работающих гидроциклах		при 6-х работающих гидроциклах	
			г/м ² ·ч	мм/год	г/м ² ·ч	мм/год
1	2	3	4	5	6	7
1	Шламовые лотки	3871	1,528	0,826	1,528	0,826
2	Сброс в коллектор аглофабрики	663	2,01	1,084	2,01	1,084
3	От шламовой насосной станции до выхода из гидроциклонов	3208	0,111	0,36	0,1	0,3
4	От гидроциклонов до градирни	3195,5	0,348	0,61	0,182	0,59
5	Градирня	3149,1	0,124	0,4	0,056	0,18
6	Трубопроводы осветленной воды	3385	0,66	2,14	0,328	1,06

Литература

1. Агасандян Г.А. Эколого-экономические аспекты моделирования водохозяйственных систем. М.: Изд-во ВЦ РАН, 1994. - 32 с.
2. Великанов А.Л. и др. Моделирование процессов функционирования водохозяйственных систем. — М.: Наука, 1983.
3. Черняев А.М., Прохорова Н.Б., Дальков М.П., Шахов И.С. Бассейн-П. Стратегия управления устойчивым водопользованием. //РосНИИВХ. — Екатеринбург: Изд-во «Виктор», 1997. — 236 с.
4. Черняев А.М., Шолохович В.Ф. Принципы формирования и модели оптимального планирования объединенных ВХС (на примере Урала) // Охрана природных вод Урала. Свердловск, 1982. - Вып.13. - С.3-16.98
5. Экологизация экономики: методы регионального управления. / А.М. Бронштейн, В.А. Литвин, И.И. Русин. М.: Наука, 1990.
6. Эльпинер Л.И., Чупис А.В., Панасовский Ю.В. Социально-экологические вопросы использования водных ресурсов. — М.: Наука, 1992. — 136
7. Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. Edificio EXPO, c/Inca Garcilaso s/n, E-41092 Sevilla — Spain-354p.
8. Колесников В. А., Капустин Ю. И. и др. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / Под ред. В. А. Колесникова. М., 2007.-243с.
9. Колесников В. А., Меньшутина Н. В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. М., 2005.-289с.
10. Колесников В. А., Мешалкин В. П. и др. Технологические процессы и системы водоочистки экологически безопасных гальванических производств: Уч. пособие. М., 2001.-123с.
11. Островский Г. М., Абиев Р. Ш. и др. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Часть II. СПб, 2006.-254с.

Автор: ДУШКИН Станислав Станиславович
профессор д.т.н., Харьковский национальный университет городского хозяйства им А.Н. Бекетова

Автор: НАЗАРЕНКО Алексей Николаевич
доцент, к.т.н., Запорожская государственная инженерная академия

References

1. Agasandyan GA Ecological and economic aspects of modeling of water systems. M.: Publishing House of the CCAS, 1994. - 32 p.
2. Giants A.L. et al. Modeling the functioning of water systems. - M.: Nauka, 1983.
3. Chernyaev AM, Prokhorov NB, Dahlke MP, Shakhov IS Pool-P. Strategy for the management of sustainable water use. // RosNIIVH. - Ekaterinburg: Publishing House "Victor", 1997. - 236 p.
4. Chernyaev A.M., Sholohovich VF Principles of formation and models of optimal planning joint SEC (example of the Urals) // Protection of natural waters of the Urals. Sverdlovsk, 1982. - Vyp.13. - S.3-16.
5. Greening the economy: methods of regional management. / A.M. Bronstein, VA Litvin, II Rusin. M.: Nauka, 1990.
6. Elpiner LI Chupis AV Panasovsky Y. The social and environmental issues of water use. - M.: Nauka, 1992. — 136p.
7. Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics. Edificio EXPO, c/ Inca Garcilaso s / n, E-41092 Sevilla - Spain-354p.
8. Kolesnikov VA Kapustin Yu et al. Elektroflotatsionnaya technology sewage treatment, industrial enterprises / Ed. VA Kolesnikov. M., 2007.- 243p.
9. Kolesnikov VA, Menshutina NV analysis, design technology and equipment for wastewater treatment. M., 2005.-289s.
10. Kolesnikov VA, Meshalkin VP et al. Technological processes and water treatment systems environmentally friendly electroplating industry: Ouch. allowance. M., 2001.-123p.
11. Ostrovsky GM, R. S. Abiyev, and others. New reference Chemist and technologist. Processes and devices of chemical technologies. Part II. St. Petersburg, 2006.-254p.

Автор: Юхневич Елена Анатольевна
Ведущий специалист, Запорожская государственная инженерная академия

**СТАН КАРБОНАТНО-КАЛЬЦІЄВОЇ СИСТЕМИ ОБОРОТНОЇ ВОДИ
ГАЗООЧИСТОК ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ**

С.С.Душкін, О.М. Назаренко, О.А.Юхневич

Робота полягає у вдосконаленні регулювання карбонатно-кальцієвої рівноваги шляхом фактичного визначення стану енергетичних комунікацій і видачі рекомендацій по водно-хімічним режимам роботи металургійного та іншого енергетичного обладнання. Робота включала в себе об'єднання різних напрямків регулювання карбонатної рівноваги в оборотній воді для регулювання безстічності підприємств для підвищення енергоефективності підприємств і пропозиція методологічного підходу в оптимальному управлінні природними ресурсами за рахунок отриманих технологіко-економічних моделей регулювання господарювання.

Ключові слова: жорсткість води, аналітика, проба води, товщина відкладень, солесміст, норма, трубопровід, закон, моніторинг, електронна база, енергоефективність.

STATUS OF CARBONATE-CALCIUM WATER CIRCULATING SYSTEM AT BLAST FURNACE GAS CLEANING

S.Dushkin, A.Nazarenko, O. Iukhnievych

This article is to improve the regulation of the calcium carbonate-balance by determining the actual state of the power of communication and issuing recommendations on the water chemistry of the metallurgical, and other power equipment. The work included bringing together different areas of regulation carbonate equilibrium in circulating water to regulate the undrained enterprises to improve energy efficiency of enterprises and offer a methodological approach in the optimal management of natural resources expense derived technological and economic models of economic regulation.

Status of water chemistry at the enterprises largely depends on the ecological situation of water collection basin. Conglomerate of enterprises in different directions and technological chains complicate the process of assimilation of wastewater discharges and complicates the process of mixing of various homogeneous and heterogeneous solutions. In this connection, the pressing is a constant monitoring of water-chemical mode of all enterprises. Surely, the tool control fairly trim the event in the main relevant environmental and energy issue will optimize carbonate calcite equilibrium revolving cycles in terms of improved environmental performance of the enterprise. The use of automated information systems, based on the methods of simulation, allows you to quickly prognose the optimal solution for the use of water resources in the region.

The purpose of regulation is to improve the quality of water of any river basin in accordance with the realistic state of water-chemical conditions of the enterprise (AIS). The work is combining different areas of regulation of water chemistry in industry, housing and agriculture through a balanced management of natural resources expense derived technological models.

Key words: water hardness, analytics, water samples, the thickness of sediments, salinity, norms, pipelines, law, monitoring, electronic database, energy efficiency